

3×3m 模拟地震振动台

黄 浩 华 执笔*

(国家地震局工程力学研究所)

摘 要

本文介绍了1983年8月研制成功的3×3m模拟地震振动台的性能和原理,它是采用强地震加速度讯号直接控制的,由二台12t输出推力的激振器推动的电液伺服控制的单水平向振动台,负载15t,频带为0.5—30Hz。该装置设于机械工业部抗震研究室。

一、引 言

我国是一个多地震国家,建国以来发生了多次破坏性很大的强烈地震,特别是1976年唐山大地震,人民生命财产受到了重大损失。1978年9月在北戴河召开的全国地震工程专业会议上,决定成立模拟地震振动台联合研制小组,由国家仪表总局天水红山试验机厂,国家地震局工程力学研究所和机械工业部抗震研究室组成。3×3m模拟地震振动台是中间试验项目,最终目标是5×5m三向模拟地震振动台,并将其列为1978年至1985年地震工程科学技术重点项目之一。

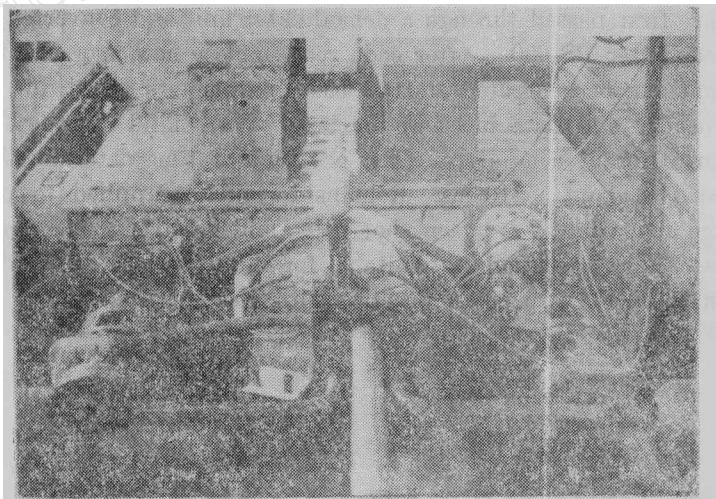


图1. 3×3m 模拟地震振动台全貌

Fig. 1 Bird's eye view of 3×3m earthquake simulation vibration table

本文[†]1984年9月15日收到。

* 本文由国家仪表总局天水红山试验机厂谢模圣、王科安,国家地震局工程力学研究所黄浩华、徐文德、李秀菊和机械工业部抗震研究室杨文生等讨论定稿。

本装置为具有 $3 \times 3\text{m}$ 的台面可负荷 15 t 的试件,由二台 12 t 输出推力的激振器推动的电液伺服控制的单水平向模拟地震振动台,采用强地震加速度讯号直接控制.将来增加设备可以成为垂直-水平同时激振的双向模拟地震振动台. 带有 7 t 负荷试件的振动台全貌示于图 1.

二、主要性能

激振方向: 水平单向

驱动方式: 电液伺服

控制方式: 加速度讯号输入控制

台面尺寸: $3 \times 3\text{m}$

台身自重: 6.5 t

负荷重量: 15 t

最大激振力: $12 \times 2\text{t}$

最大位移: $\pm 70\text{ mm}$

最大速度: 45 cm/s

最大加速度: 空荷 2.0 Gal, 满荷 1.0 Gal

频率范围: 0.5—30 Hz $\pm 3\text{dB}$

加速度波形失真: $<40\%$

激振波形: 地震波、随机波、规则波(正弦波、三角波、方波等)

所需电力: 约 250 kW

三、主要构成机器

振动台台面: 1 套

激振器: 2 台, 每台出力 12 t

静压导轨: 4 套

铰接连杆系统: 4 套

主液压源: 1 套

副液压源: 1 套

液压分配系统: 1 套

模拟控制装置: 1 套

四、构造原理

1. 台面 采用网格薄板钢焊结构, 总厚为 60 cm, 空台第一弯曲频率为 158 Hz. 台面

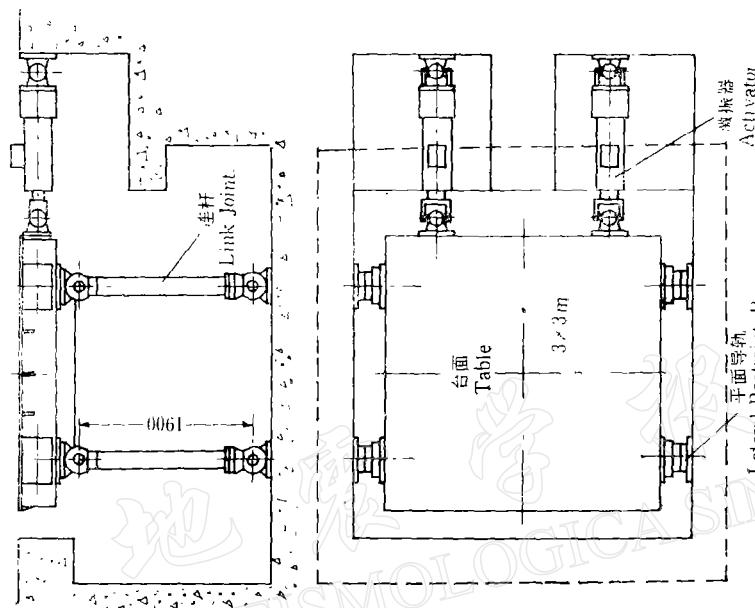


图 3. 机械结构布置简图
Fig. 3 Machine layout diagram

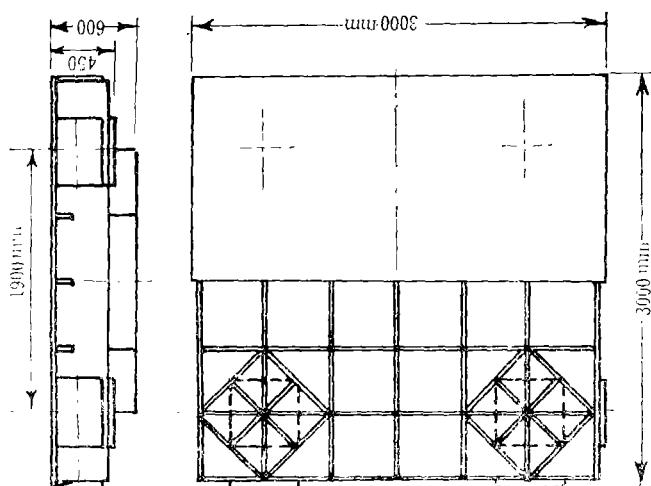


图 2. 台面简图
Fig. 2 Table diagram

简图见图 2.

2. 激振器 动荷出力为 $12 t$ ，最大出力为 $17 t$ 。伺服伐采用密云机床厂生产的 QDY-D 400 型三级伐，空载流量为 $400 l/min$ ，供油压力为 $210 kg/cm^2$ 。激振器两端采用轴承铰接头。

3. 铰接连杆 作竖向支承用，连杆两端为滑动球铰，铰间距为 $190 cm$ 。增设垂直向激振器时，用垂直激振器替换即可。

4. 侧向导向装置 用平面静压导轨，内装弹性元件，以防止温差影响。总的机械安装简图如图 3 所示。

5. 液压源装置 主油源由四台 $160 l/min$ 流量， $210 kg/cm^2$ 压力的油泵组成，每台由 $55 kW$ 电机带动。辅助油源压力为 $20-100 kg/cm^2$ ，流量为 $48 l/min$ ，供应平面静压导轨、激振器静压轴承和竖向连杆球铰的强制润滑。附设有水冷却系统。

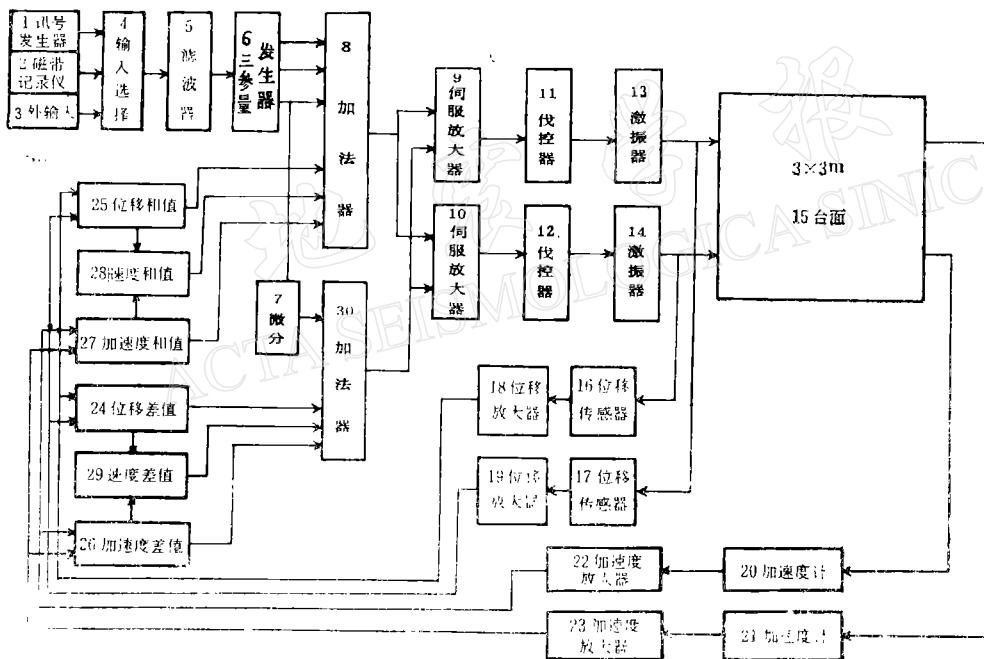


图 4 模拟控制简图

Fig. 4 Block diagram of analog control system

1. Oscillator, 2. Magnetic tape recorder, 3. External input, 4. Input selection, 5. Filter, 6. Three variable control reference filter, 7. Differentiator, 8,30. Summer, 9, 10. Servo amplifier, 11, 12. Valve controller, 13, 14. Actuator, 15. Table, 16, 17. Displacement sensor 18, 19. Displacement amplifier, 20, 21. Accelerometer, 22, 23. Acceleration amplifier, 24. Displacement differential value, 25. Displacement sum value, 26. Acceleration differential value, 27. Acceleration sum value, 28. Velocity sum value, 29. Velocity differential value

6. 模拟控制装置 其原理如图 4 所示，为三参量反馈和三参量控制的加速度控制方式。三参量控制讯号是将输入的加速度讯号经过三参量变换装置后获得相当于位移、速度和加速度的讯号，按照负载的变化而调节三个量的关系进行叠加。三参量反馈由台面上的伺服加速度计和位移计获得加速度和位移讯号，速度则由上述两个讯号合成获得，也随

负载变化而和输入三参量同时调节到最佳值。采用此法控制可将使用频带扩宽、工作稳定、波形失真小、输入讯号不用经过特殊处理。为解决负荷偏心影响，除了差值反馈控制外，又加入了输入变换装置中的加速度讯号，经一次微分后送入差值控制环，以消除瞬时力的影响。输入装置除了规则波发生器外，附设有磁带记录器，并可外接随机波发生器等讯号。

五、实机试验结果

装置完成后在制造厂内进行了实机试验，负荷条件为空荷和7 t 荷载两种，其结果

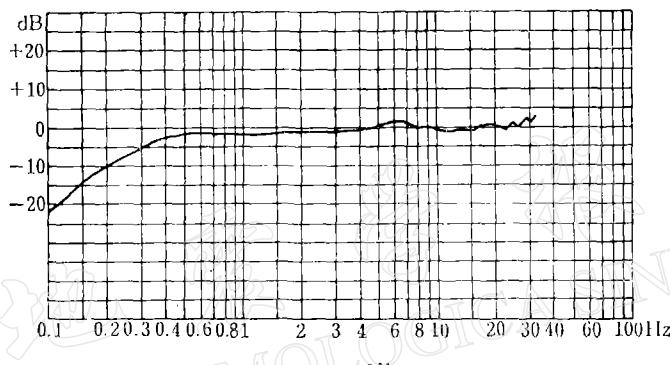


图 5 空荷频率特性曲线

Fig. 5 Table load frequency response characteristics

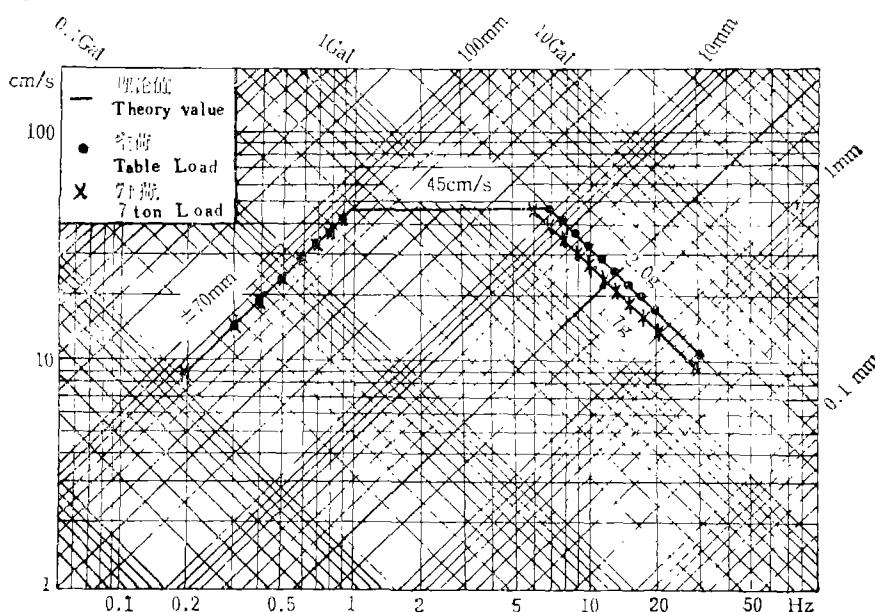


图 6 极限功能曲线

Fig. 6 Maximum performance characteristics

为:

1. **频率特性** 在空荷试验时, 以 0.4 Gal 激振, 其频率范围为 $0.5\text{--}30\text{ Hz} \pm 3\text{ dB}$ (见图 5). 7 t 负荷时则为 $0.6\text{--}26\text{ Hz} \pm 3\text{ dB}$.

2. **极限功能曲线** 极限功能曲线由激振器的行程极限、油源和伺服伐的流量极限、最大激振力和负载重量等来定. 空荷和 7 t 负荷的试验结果示于图 6.

3. **地震波再现** 使用美国 EL-Centro 地震进行试验, 压缩比分别为 $1:1, 1:2, 1:4$. 图 7 中示出 $1:4$ 的空荷时台面反应和输入原型波的时程曲线, 可见能相当好地再现出现地震波.

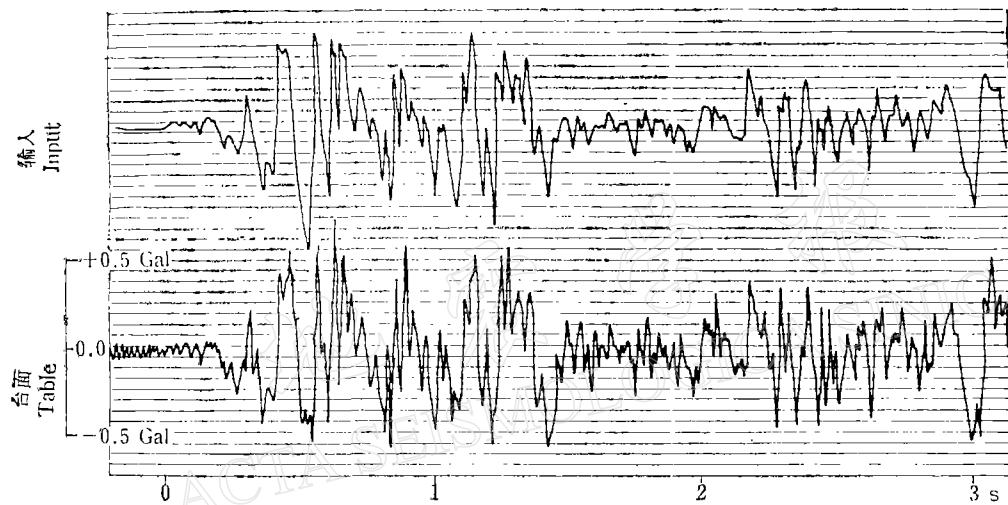


图 7. EL-Centro 地震加速度波空荷, 时间压缩比 $1:4$

Fig. 7 EL-Centro earthquake acceleration wave. Table load, Time compression ratio: $1/4$.

六、结语

$3 \times 3\text{m}$ 模拟地震振动台的研制成功, 虽然填补了我国的空白, 但与国际水平相比还有差距. 可是, 已为研制 $5 \times 5\text{m}$ 三向模拟地震振动台打下了技术和制造的基础. 今后有必要在数控等方面下更大的工夫来完善此类设备, 以满足抗震设计和确认安全性工作的需要.

THE 3×3 m EARTHQUAKE SIMULATION VIBRATION TABLE

HUANG HAOHUA

(Institute of Engineering Mechanics, State Seismological Bureau)

Abstract

The technical specification and design principle of the 3×3 m earthquake simulation vibration table which was accomplished at August 1983 is introduced in this paper. The table motion is controlled directly by acceleration of strong motion, the uniaxial horizontal motion is excited by two hydroelectro-servo controlled actuators, each of them provides 12 ton exciting force. The rated loading capacity is 15 metric tons. Operation frequency range 0.5—30 Hz.

书 讯

1966年邢台大地震,是中国近代重要的大地震群之一。地震发生后,地震、地质、地球物理、测绘、建筑专业的大批科学工作者进行了详细深入的现场考察,收集了大量宝贵的资料。在邢台地震二十周年即将来临之际,国家地震局地球物理研究所、河北省地震局联合编辑《一九六六年邢台地震照片集》一书,真实全面地再现了邢台地震震害,对广大地震、地质、地球物理、工程建筑等专业人员和大专院校师生,这是一本珍贵的科研参考书,对于广大群众则可从生动形象的大量图片中学习到地震和抗震的知识。

该书16开本,200多页,精选照片500多幅(涉及3月8日地震的63个村镇和3月22日地震的100个村镇),并附有较详细的文字说明。同时选载等震线图、地震缝冒沙水分布图、地形变分布图、震中分布图等重要图件30多幅,最后附有邢台1966年3月至1984年12月 $M \geq 4.0$ 级地震简目,以及该书所涉及的村镇索引。

该书由海洋出版社出版,中国科学院印刷厂1985年12月第一次印刷,新华书店1985年12月发行,中国地球物理科技咨询开发公司经销,统一书号17193·0606,定价每册13.50元,印数很少,欲订从速。书款可从银行或邮局汇来,开户银行:北京东升路分理处,工商银行帐号6601—101;邮局:北京市学院路83支局;通信地址:北京清华东路地震局地球所内中国地球物理科技咨询开发公司。